

VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
BIOMEDICÍNSKÝ TECHNIK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

OSTRAVA, 2011

Jana Gajecká

VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
BIOMEDICÍNSKÝ TECHNIK

Bezkontaktní měření teploty

**Contactless Measurement of Human Body
Temperature- laboratory exercise**

OSTRAVA, 2011

Jana Gajecká

Čestné prohlášení autora práce:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

Jana Gajecká

Datum odevzdání bakalářské práce: 6. 5. 2011

Poděkování:

Touto cestou bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Martinu Černému. Dále za pomoc panu Ing. Františku Štěpánovi za cenné rady v oblasti hardwaru a Ing. Martinu Stankušovi za konzultace softwarové části.

Abstrakt:

Teplota je jednou z nejzákladnějších fyzikálních, neelektrických veličin, jež nás a všechny jevy v přírodě ovlivňuje. Teplotu je nezbytné kontrolovat (měřit) a poté diagnostikovat. Tělesná teplota vypovídá mnoho o fyzickém stavu pacienta, diagnostika zvýšené (37°C a výš), nebo vysoké teploty (39°C a výš) může vypovídat o špatné funkci některého orgánu, nebo může poukazovat na zánět či některý z imunitních procesů v lidském těle. Dalo by se říct, že teplota je průvodním varovným signálem pro následnou diagnostiku pacienta.

Měření teploty může být pouze orientační (pomocí rtuťových teploměrů s přesností 1°C), pro zkvalitnění přesnosti měření teploty se užívá bezkontaktních teploměrů s přesností $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Důležitou součástí měření je ale také převod neelektrické veličiny (teplota) na veličinu elektrickou (napětí/ proud), který v měřicím řetězci zajišťuje A/D převodník.

Klíčová slova: bezkontaktní měření teploty, teplota, IR senzory, senzory

Abstract:

Temperature is one of the most fundamental physical, non-electrical quantities, which we and all the phenomena of nature influences. The temperature should be monitored (measured) and then diagnosed. Body temperature tells much about the physical condition of the patient, diagnosis increased (37°C and above), or high temperature (39°C and above) may indicate a malfunction of an organ, or may indicate inflammation or any of the immunological processes in the human body. You could say that the temperature is accompanying a warning signal for the subsequent diagnosis of the patient. Temperature measurement can be only approximate (using mercury thermometers with an accuracy of 1°C) to improve the accuracy of temperature measurement is taken non-contact thermometers with an accuracy of $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. An important part of the measurement is also the transfer of non-electric variables (temperature) on the electrical variable (voltage / current) in the measuring chain provides the A / D converter.

Key words: contactless measurement of temperature, temperature, IR sensors, sensors

Seznam zkratek:

AD- AnalogDevices

A/D- analogově- digitální (číslicový) převodník

ASIC-předzpracování signálu

Bmeng DAU-(data aquisition unit)-jednotka pro sběr dat

DP- filtr typu „dolní propust“

E- emitované záření

GE- General electronics

HW - hardware

IR- Infra-červený

OZ- operační zesilovač

PE- PerkinElmer

PZ- Přístrojový zesilovač

Plug and play-(„připoj a hraj“)-počítačová technologie umožňující jednodušší rozpoznávání a konfiguraci hardwaru

R- odražené záření

RoHS- (Restriction of the use of Hazardous Substances)-direktiva zakazující použití nebezpečných látek v elektronických a elektrických výrobcích

RTD- odporové detektory teploty

SW-software

T- procházející záření

Uoff- napětí, které je přivedeno na zesilovač s offsetem

USB-(universal serial bus)univerzální sériová sběrnice dat

V_{DD}/U_{DD} - vstupní kladné napájecí napětí +5V

Obsah

| | |
|--|--------|
| 1 Úvod: | - 1 - |
| 2 Teplota a její měření | - 2 - |
| 2.1 Teplota | - 2 - |
| 2.1.1 Kontaktní měření tělesné teploty | - 2 - |
| 2.1.2 Bezkontaktní měření tělesné teploty | - 3 - |
| 2.1.2.1 Tepelné detektory | - 3 - |
| 2.1.2.2 Kvantové detektory (fotodetektory) | - 3 - |
| 2.2 Princip infračerveného záření | - 3 - |
| 2.2.1 Emisivita | - 4 - |
| 2.2.2 Základní veličiny, mající vliv na IR-záření | - 6 - |
| 2.2.3 Důležitá kritéria pro měření infračerveným zářením | - 7 - |
| 2.2.4.a Výhody bezkontaktního měření: | - 8 - |
| 2.2.4.b Nevýhody bezkontaktního měření: | - 8 - |
| 2.3 Porovnání IR teplotních senzorů | - 9 - |
| 2.3.1 Senzor typu A2TPMI334: | - 9 - |
| 2.3.1.1 Vlastnosti a výhody: | - 9 - |
| 2.3.2 Senzor typu ZTP-135SR | - 11 - |
| 2.3.2.1 Vlastnosti a výhody: | - 11 - |
| 2.3.2.2 Vysvětlení některých parametrů senzorů: | - 11 - |
| 2.3.2.3 Specifikace typu ZTP-135SR | - 12 - |
| 3 Výběr senzoru pro praktickou část | - 13 - |
| 3.1 Nástin 1. cesty: | - 14 - |
| 3.1.1 Návrh zapojení pro senzor ZTP-135SR (GE) | - 14 - |
| 3.2 Nástin 2. cesty: | - 16 - |
| 3.2.1 Návrh 1 pro zapojení senzoru A2TPMI334-L5.5OAA (PerkinElmer) | - 16 - |
| 3.2.2 Návrh 2 pro zapojení senzoru A2TPMI334-L5.5OAA (PerkinElmer) | - 18 - |
| 3.3 Testování | - 21 - |
| 3.3.1 Charakteristika průběhu $U(V)$ v závislosti na nastaveném $U(V)$ | - 21 - |
| 3.3.2 Detail naměřených hodnot napětí | - 22 - |
| 3.3.3 Zvolení vzdálenosti měření | - 24 - |
| 4 Návrh Softwaru: | - 25 - |

| | |
|--|--------|
| 5 Závěr: | - 26 - |
| Příloha 1 - Návrh DPS | I |
| Příloha 2 - Technická dokumentace | II |
| Příloha 3 - Laboratorní úloha | IV |
| Příloha 4 - Kód programu Matlab R2008b | VIII |

1 Úvod:

Teplota je jednou z nejzákladnějších fyzikálních, neelektrických veličin, jež nás a všechny jevy v přírodě ovlivňuje. Jedná se o neelektrickou veličinu, proto je jí nutné převést na veličinu elektrickou, což bývá zejména napětí či proud.

Cílem této práce je vybrat vhodné senzory pro bezkontaktní měření teploty a následně provedení jejich analýzy a porovnání těchto infračervených senzorů mezi sebou. Dále pak navržení desky plošných spojů s vybraných senzorem teploty (s tím, jehož parametry jsou nejvíce vyhovující). Navržená deska pak bude kompatibilní s modulem bmeng KIT, což je výuková sada biomedicínského inženýrství. Analogový signál bude převeden na signál digitální pomocí bmeng DAU (A/D převodník) pře USB kabel přiveden do počítače a dále zpracován jednoduchým softwarem v programu Matlab R2008b, pro analýzu patientských dat (teplota). V programu bude umožněn přepočet napětí na výslednou teplotu pacienta. Součástí této práce je také laboratorní úloha, která umožní studentům proniknout do tajů měření teploty. Osvojí si zásady měření s bezkontaktním infračerveným teploměrem.

TEORETICKÁ ČÁST

2 Teplota a její měření

2.1 Teplota

Teplota je jednou z nejdůležitějších fyzikálních veličin. Ovlivňuje téměř všechny stavy a procesy v přírodě i technice. Pominou-li se klasické rtuťové a kovové bimetalové teploměry, používají se obvykle k měření teploty standardní měřicí řetězce sestavené z čidla, převodníku a vyhodnocovací a zobrazovací jednotky. Převod teploty na elektrický signál zajišťuje čidlo, jehož signál se v převodníku zesiluje, upravuje a většinou digitalizuje a vyhodnocovací jednotka ho ve vhodném tvaru zobrazuje a popř. dokumentuje. Převodník a vyhodnocovací jednotka zpravidla tvoří jeden celek, nabízený jako inteligentní (smart) snímač teploty [1].

2.1.1 Kontaktní měření tělesné teploty

Teplota se dá měřit buď kontaktními senzory anebo bezkontaktními senzory. Kontaktní měření se využívá především ve strojírenství a na dostupných místech. Kontaktní senzory se dělí na:

Termočlánky

Termočlánky patří mezi nejjednodušší teplotní čidla. Skládají se ze dvou typů kovových vláken, která jsou různě citlivá na teplotu. Referenční vlákno předává nebo odebírá teplo druhému vláknu a výsledné teplo je určeno výsledným napětím, které je převedeno z celkové práce mezi dvěma vlákny na elektrickou veličinu U [V].

Termistory

Termistory jsou malé polovodičové senzory, často užívané v lékařství.

Rtuťové teploměry

Detektory odporu teploty (RTD)

RTD patří mezi nej přesnější snímače teploty. Jsou založeny na pozitivním teplotním koeficientu elektrického odporu.

Bimetalové teploměry

Jednoduchý mechanický snímač, dva kovy se rozšiřují různými rychlostmi v závislosti na teplotě.

Polovodičové snímače teploty

Jsou jednoduché a levné, pracují s omezeným rozsahem teplot, jsou lineární [2].

2.1.2 Bezkontaktní měření tělesné teploty

Bezdotykové senzory jsou schopny měřit teplotu bez kontaktu s měřeným objektem, jsou uzpůsobeny pro měření ve větších teplotách ($>1300\text{ °C}$), na rozdíl od kontaktních teploměrů, které mají omezenou životnost. Detektory záření se dají považovat za měniče neelektrické veličiny (záření) na elektrickou energii. Podle způsobu interakce záření s látkou detektoru se bezkontaktní senzory dělí na :

2.1.2.1 Tepelné detektory

Tepelné detektory integrují absorbovanou zářivou energii a vyhodnocují změnu teploty detektoru. Tepelné detektory se vyznačují tím, že dopadající vstupní záření je pohlcováno jeho aktivní plochou. To vede na zvýšení jeho teploty. Výstupní signál tepelných detektorů je proto v principu (téměř) nezávislý na vlnové délce dopadajícího záření- je tedy neselektivní. Povrch detektoru má ale pro různé vlnové délky rozdílnou absorpci, nelze tedy absolutní neselektivnosti dosáhnout. Teplotní změny citlivého elementu vlastního detektoru představuje relativně pomalý proces. Proto časová konstanta tepelného detektoru je zpravidla o několik řádů větší, než časová konstanta fotodetektoru. Ve velmi hrubém přiblížení lze konstatovat, že časová konstanta tepelného detektoru je v milisekundové oblasti, kdežto u fotodetektoru se pohybuje v mikrosekundové oblasti. Patří mezi ně (termoelektrické detektory, bolometry, pyroelektrické detektory, pneumatické detektory, kapalně krystaly...) [3a]

2.1.2.2 Kvantové detektory (fotodetektory)

Kvantové detektory reagují na absorbované fotony excitací volných nosičů náboje (fotoelektrický jev). Mají vysokou detektivitu a velmi rychlou odezvu, vyžadují však chlazení, aby se omezil nežádoucí teplotní šum. Patří tam např. fotoodpor, fotodiody [3b].

2.2 Princip infračerveného záření

Snímače pro infračervené záření se nazývají pyrometry. Úhrnné pyrometry měří teplotu v celém spektru udaných vlnových délek, teplotu vyhodnocují na základě Stefan-Boltzmanova zákona. Pásmové pyrometry měří záření v úzkém rozsahu vlnových délek [13].

Každé uskupení hmoty o teplotě nad absolutní nulu ($0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$) vysílá infračervené záření, odpovídající jeho teplotě. To se nazývá charakteristické záření. Jeho příčinou je vnitřní pohyb molekul. Intenzita tohoto pohybu závisí na teplotě objektu. Protože pohyb molekul představuje přemísťování náboje, je vyzařováno elektromagnetické záření (fotonové částice). Tyto fotony se pohybují rychlostí světla a chovají se dle známých optických zákonů. Mohou být odkláňeny, soustředěny čočkami nebo odraženy odraznými povrchy. Spektrum tohoto vyzařování pokrývá vlnové délky od $0,7$ do $1000\text{ }\mu\text{m}$, pro bezdotykové měření ovšem využíváme jen malou část tohoto spektra, a sice vlnové délky od $0,7$ do $20\text{ }\mu\text{m}$, pro větší vlnové délky nejsou k dispozici vhodné detektory. Toto spektrum záření pokrývá měření teploty od -40 do $10\,000\text{ °C}$. Z tohoto důvodu toto záření nemůže být normálně viditelné pouhým okem. Tato

oblast vlnových délek leží za červenou částí viditelného světla a nazývá se proto "infra"-červená (z latiny)[4],[5], [10].

2.2.1 Emisivita

Intenzitu vyzařování černého tělesa udává Stefan-Boltzmanův zákon pro danou teplotu v celém rozsahu vlnových délek:

$$H_0 = \sigma \cdot T^4$$

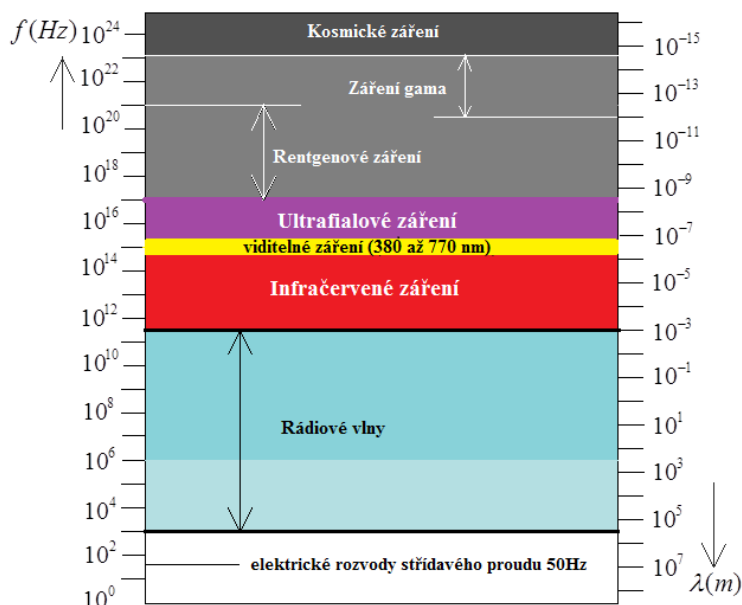
$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}], H_0 - \text{intenzita vyzařování}$$

Rovnice 1 Stefan- Boltzmanův zákon [13]

Vztah mezi skutečnou vyzařovanou energií a energií vyzařovanou černým tělesem stejné teploty je znám jako emisivita ε (epsilon), její hodnota leží v rozmezí 0 až 1, hodnoty 1 však nikdy nedosáhne, může se jí pouze přiblížit (těleso se v tom případě blíží ideálnímu černému tělesu). Tělesa s emisivitou menší než 1 se nazývají šedá tělesa. Tělesa, jejichž emisivita závisí rovněž na teplotě a vlnové délce se nazývají ne-šedá tělesa (non-gray bodies), říká se jim také selektivní zářiče. Intenzitu vyzařování šedého tělesa vypočteme:

$$H_0 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

Rovnice 2 Vztah pro výpočet intenzity vyzařování šedého tělesa [13]

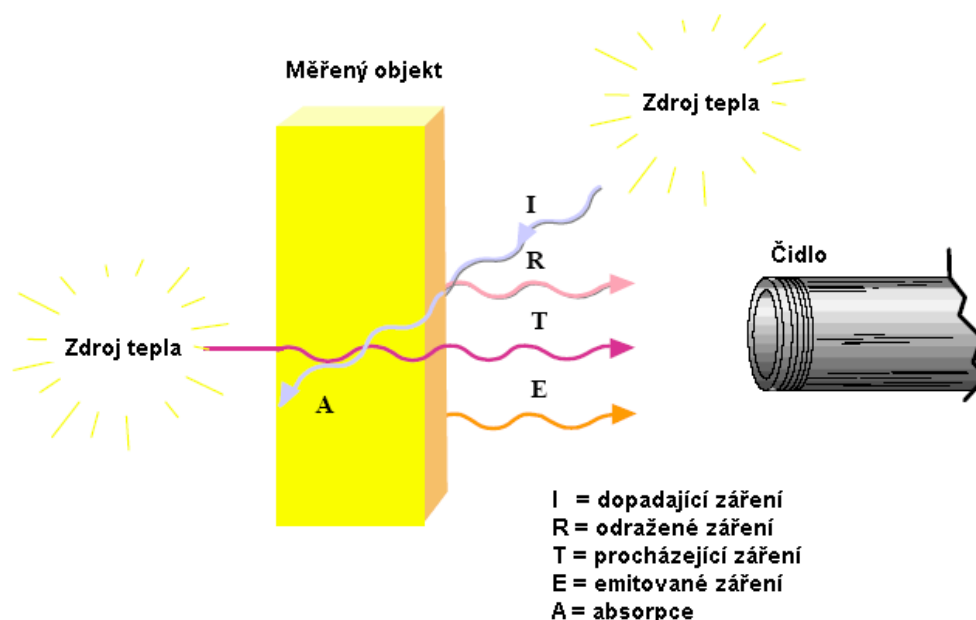


Obr 1-1 Znázornění spekter záření v závislosti na vlnové délce [15]

Čím větší je rozdíl vyzařování při určitém teplotním rozdílu, tím přesněji infračervený teploměr pracuje. Podle posunu maxima vyzařování ke kratším vlnovým délkám s rostoucí teplotou (Wienův zákon posunu) odpovídá rozsah vlnových délek měřicímu teplotnímu rozsahu pyrometru. Vztah mezi skutečnou vyzařovanou energií a energií vyzařovanou černým tělesem stejné teploty je znám jako emisivita ϵ (epsilon) a může mít maximální hodnotu 1 (těleso v tom případě odpovídá ideálnímu černému tělesu) a minimální hodnotu 0. Tělesa s emisivitou menší než 1 se nazývají šedá tělesa. Tělesa, jejichž emisivita závisí rovněž na teplotě a vlnové délce se nazývají ne-šedá tělesa (non-gray bodies).

Kromě toho je celkové množství vyzařované energie složeno ze záření emitovaného (E), odraženého (R) a procházejícího (T) a je rovno 1, viz následující rovnici (1.1) a obrázek 2-1:

$$E + R + T = 1 \quad (1.1)$$



Obr 2-1 Celková energie tělesa [14]

Kromě záření emitovaného měřeným objektem čidlo rovněž přijímá odražené záření a může také případně přijímat záření procházející měřeným objektem.

U pevných těles není žádné procházející záření v infračerveném pásmu ($T = 0$). Výsledkem je, že pro emisi platí (1.2):

$$E = 1 - R \quad (1.2)$$

Ideální černé těleso má také nulovou odrazivost ($R = 0$), takže $E = 1$.

Mnoho nekovových materiálů jako je dřevo, plasty, guma, organické materiály, kámen nebo beton mají povrch, který odráží velmi málo, a proto mají vysokou emisivitu mezi 0,8 a 0,95. Naopak kovy - zvláště ty s leštěným nebo lesklým povrchem - mají emisivitu kolem 0,1. Infračervené teploměry to kompenzují nabídkou proměnných hodnot nastavení faktoru emisivity [3], [4], [5], [10], [11].

2.2.2 Základní veličiny, mající vliv na IR-záření

pohltivost

$$\alpha_{\lambda} = \frac{\phi_{\lambda p}}{\phi_{\lambda d}} \quad \begin{array}{l} \alpha_{\lambda} - \text{pohltivost pro danou vlnovou délku} \\ \phi_{\lambda p} - \text{pohlčený tok} \\ \phi_{\lambda d} - \text{dopadající tok} \end{array} \quad (1.3)$$

prostupnost

$$\tau_{\lambda} = \frac{\phi_{\lambda t}}{\phi_{\lambda d}} \quad \begin{array}{l} \tau_{\lambda} - \text{prostupnost pro danou vlnovou délku} \\ \phi_{\lambda t} - \text{prostupující tok} \\ \phi_{\lambda d} - \text{dopadající tok} \end{array} \quad (1.4)$$

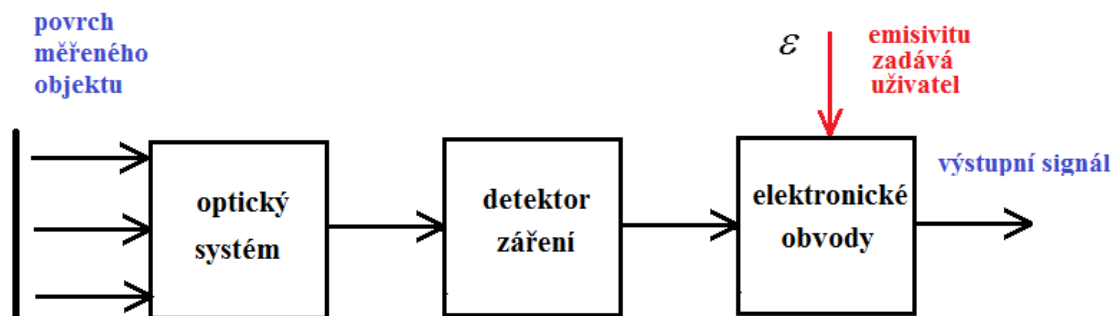
odrazivost

$$\rho_{\lambda} = \frac{\phi_{\lambda r}}{\phi_{\lambda d}} \quad \begin{array}{l} \rho_{\lambda} - \text{odrazivost pro danou vlnovou délku} \\ \phi_{\lambda r} - \text{odražený tok} \\ \phi_{\lambda d} - \text{dopadající tok} \end{array} \quad (1.5)$$

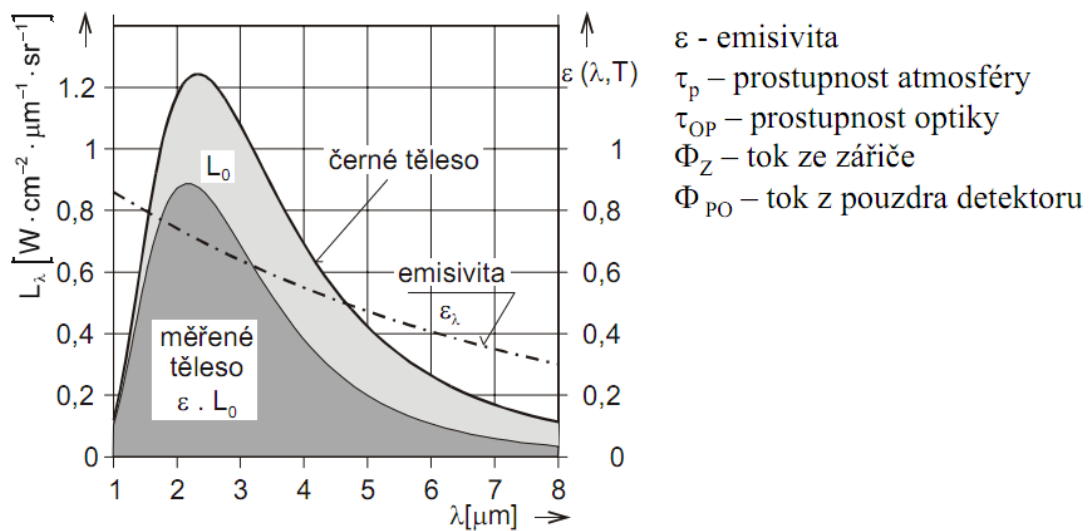
emisivita

$$\frac{M_{\lambda}}{\alpha_{\lambda}} = f(T, \lambda) \quad (1.6)$$

tyto vztahy platí pro monochromatické záření \Rightarrow 1 vlnová délka [8]



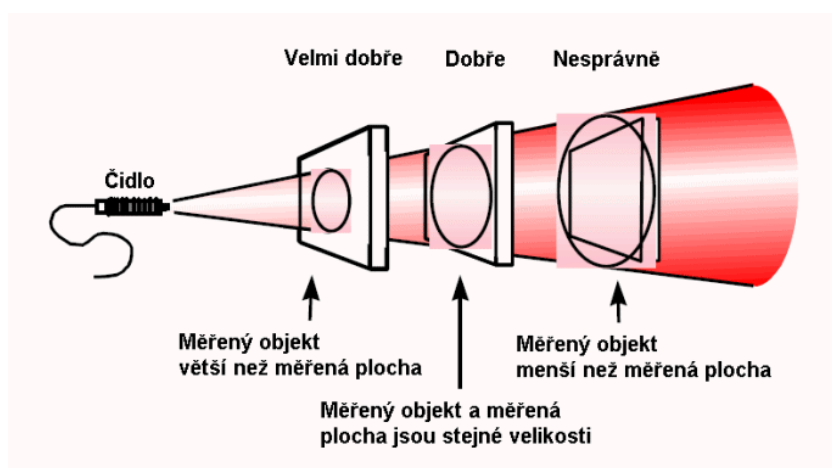
Obr 3-1 Blokové schéma bezdotykového teploměru [8]



Obr 4-1 Charakteristické vyzařování při různých emisivitách [8]

2.2.3 Důležitá kritéria pro měření infračerveným zářením

- zorný úhel (velikost sledovaného objektu a vzdálenost) viz obr 5-1
- emisivita povrchu sledovaného objektu
- vliv okolního prostředí (odražené záření jiných zdrojů, pohltivost atmosféry)



Obr 5-1 Měřený objekt versus měřená plocha [14]

2.2.4.a Výhody bezkontaktního měření:

- Lze měřit pohybující se objekty
- Lze měřit velké teplotní rozsahy cca od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $5000\text{ }^{\circ}\text{C}$ a více
- Lze měřit rychlé teplotní změny
- Jednoduchost měření bez kontaktu s měřeným objektem, lze měřit různé povrchy, aniž bychom je mechanicky poškodili (možným problémem bezkontaktního měření různých typů povrchu může být dáno jejich emisivitou.)
- Možnost měřit a dále pak digitálně zpracovávat teplotu měřeného objektu [16], [17]

2.2.4.b Nevýhody bezkontaktního měření:

- Možnost měření pouze povrchové teploty
- Nejistota měření způsobená špatnou znalostí emisivity povrchu tělesa
- Nejistota měření způsobená špatným zaměřením měřeného objektu
- Neznalost teorie sálání a špatné nastavení okrajových podmínek měření [16], [17]

2.3 Porovnání IR teplotních senzorů

2.3.1 Senzor typu A2TPMI334:



Obr 6-1 senzor A2TPMI334-L5.50AA [firemní dokumentace A2TPMI334-L5.50AA PerkinElmer]

Termoelektrický snímač, má plug and play řešení pro bezkontaktní měření teploty (tzn. má zabudovanou technologii pro jednodušší rozpoznávání konfigurace hardwaru).

Moduly snímače jsou před-zesílené a okolní teplota je kompenzována (pokud není uvedeno jinak.) Tento integrovaný infračervený modul je citlivý na tepelné záření měřeného objektu a převádí jej na analogové napětí.

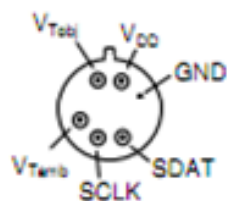
Po připojení senzoru k napájení 5V stejnosměrného napětí je teplo objektu a okolní teplota přivedeny na výstup na příslušné piny jako analogové napětí mezi 0,5 V a 4,5 V. V před-kalibrované verzi jsou nezbytné pouze tři piny pro provoz: výstupní napětí měřeného objektu, 5V napájecího napětí a zem viz obr 7-1. Vzhledem k internímu digitálnímu signálovému zpracování a 8 bitovému rozlišení vnitřní kontroly registrů A2TPMI má dokonalejší přesnost nastavení a lepší výkon. Pro zesílení vysoce citlivého termoelektrického signálu v mikro -až milivoltovém rozsahu je zajištěn zesilovač s vysokým rozlišením programovatelné nízké hluchnosti. Nastavitelné čidlo s vysokou přesností okolní teploty následuje signálový procesor, nabízí přesnější kompenzaci polynomiální vlastnosti, která dokonale odpovídá termoelektrickému výstupu.

Má dva nastavitelné komparátory z A2TPMI, které mohou být alternativně použity pro posílení funkčnosti. To umožňuje zaměstnat A2TPMI jako teplotně závislý spínač pro alarmové účely. Prahová teplota a hystereze jsou volně programovatelné pro oba komparátory [9].

2.3.1.1 Vlastnosti a výhody:

- Je integrovaný smíšeným signálem ASIC (provede potřebné předzpracování signálu)
- Okolní teplota je kompenzována
- Výstupní signál je zkalibrován
- Svodové proudy jsou na aplikační úrovni
- Má "Plug –and -play" výkon
- Patří mezi "Zelené" produkty: bezolovnaté a RoHS vyhovující
- Napájecí napětí 5 V

- rychlá reakční doba (75 ms)
- různá optika a IR filtry k dispozici
- digitální sériové rozhraní pro kalibraci
- Analogové přední / zadní, digitální zpracování signálu
- Konfigurovatelný komparátor s vysokým / slabým signálem pro dálkovou teplotní prahovou kontrolu [9]



Obr 7-1 detail senzoru A2TPMI334-L5.5OAA [firemní dokumentace A2TPMI334-L5.5OAA PerkinElmer]

2.3.2 Senzor typu ZTP-135SR



Obr 8-1 senzor ZTP-135SR [firemní dokumentace ZTP-135SR GE]

Tento termoelektrický snímač se používá pro bezkontaktní měření tělesné teploty. ZTP-135SR model se skládá z těchto prvků: termo-elementy, plochý IR filtr a termistor pro teplotní kompenzaci v hermeticky uzavřeném TO46 (18) balení. Existuje však velké množství filtrů, které se dá použít pro maximalizaci výkonu v konkrétních aplikacích.

2.3.2.1 Vlastnosti a výhody:

- Ušní teploměr
- Bezkontaktní teploměr
- Malá-velikost snímače (TO-46 balíček)
- Vklíněný termistor pro kompenzaci okolní teploty
- Vysoká citlivost
- Rychlá doba odezvy
- Nízké náklady

2.3.2.2 Vysvětlení některých parametrů senzorů:

Sensitivity (citlivost či převodní konstanta)= velikost U_{out} na intenzitě dopadajícího záření

NEP (noise equivalent power)= minimální intenzita záření, kterou je senzor schopen detekovat

$$\text{Detectivity } D = \frac{1}{NEP}$$

Specific detectivity= rozšířený parametr detektivit D o vliv plochy detektoru A_D

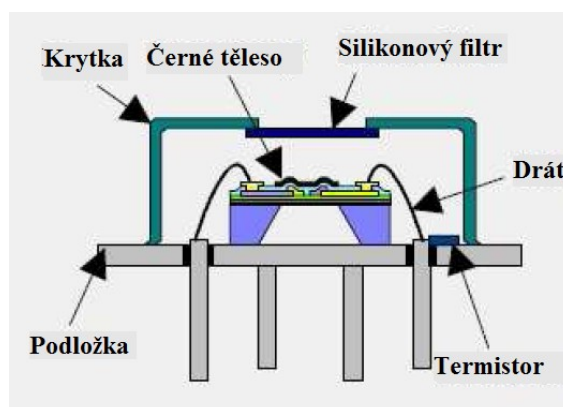
$$D_{spec} = \sqrt{\frac{A_D}{NEP}}$$

Response time (časová konstanta, rychlost odezvy)= minimální doba, kterou potřebuje senzor na změření změny teploty (maximální frekvence, se kterou se může měnit teplota měřeného objektu, aby ještě byly všechny změny senzorem zaznamenány.) [16]

2.3.2.3 Specifikace typu ZTP-135SR

| Parametr | jednotka | hodnota | podmínky |
|--------------------|-----------------|------------------|------------------------|
| Velikost čipu | mm ² | 1.8 x 1.8 | - |
| Velikost membrány | mm ² | 1.4 x 1.4 | - |
| Aktivní oblast | mm ² | 0.7 x 0.7 | - |
| Vnitřní odpor | k Ω | 60 ±30% | (25°C) |
| odpor T. C. | % (°C) | < 0.12 | - |
| odezva | V/W | 62 ±30% | 500K, 1 Hz |
| odezva T. C. | % °F (°C) | 0.10 | Typické |
| NEP | n W/ √Hz | 0.51 | 500K, 1 Hz, Typické |
| Detektivita | c n √Hz/W | 1.35E + 08 | 500K, 1 Hz, Typické |
| Časová konstanta | m s | 25 | 500K, 1 Hz, Typické |
| Provozní teplota | (°C) | (-20°C to 100°C) | - |
| Skladovací teplota | (°C) | (-40°C to 120°C) | - |
| Odpor termistoru | k Ω | 100 ±3% | (25°C) |

[10]



Obr 9-1 Příklad realizace pouzdra

HARDWAROVÁ ČÁST

3 Výběr senzoru pro praktickou část

K dispozici jsou 2 senzory pro bezkontaktní měření teploty.

Senzory: A2TPMI334-L5.5OAA (PerkinElmer)

ZTP-135SR (GE)

Je třeba vybrat si dva senzory a porovnat jejich technické parametry mezi sebou, poté vyhodnotit, který senzor je pro lékařské účely nejvhodnější. Jedná se o senzory typu A2TPMI334-L5.5OAA a ZTP-135SR. Porovnají se tedy mezi sebou senzory ZTP-135SR a A2TPMI334-L5.5OAA, k dispozici jsou tři možné řešení:

1. řešení:

- Návrh desky plošných spojů pro senzor ZTP-135SR (GE)
- Kalibrace senzoru černým tělesem

2. řešení:

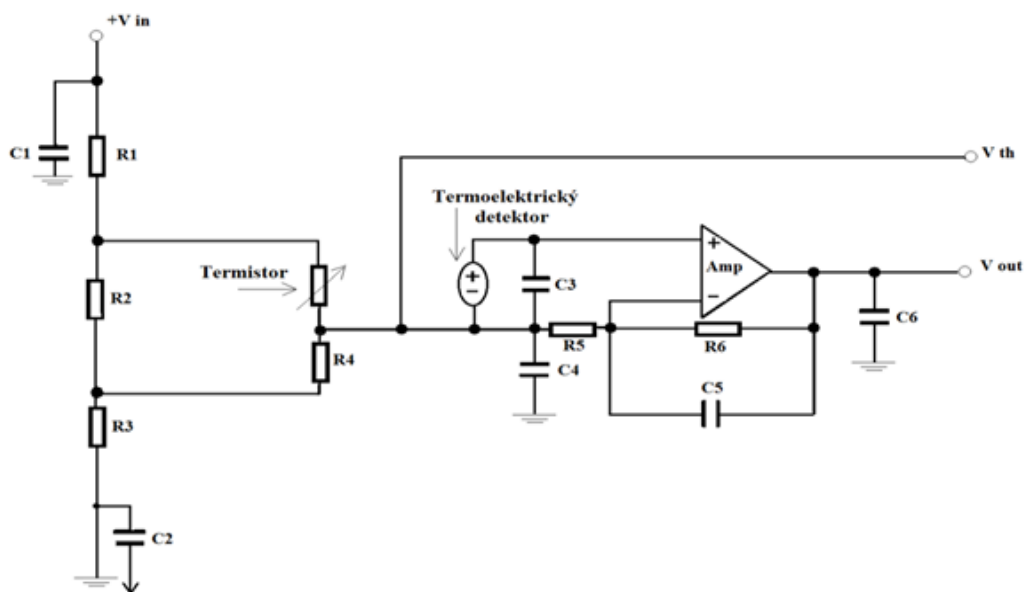
- Návrh desky plošných spojů pro senzor A2TPMI334-L5.5OAA (PerkinElmer)
- Není nutná kalibrace senzoru černým tělesem, má v sobě zabudovanou kalibrační jednotku

3. řešení:

- Udělat návrhy DPS pro oba senzory a porovnat jejich kvality prakticky v laboratorní úloze, ne jen teoreticky podle technických dat

3.1 Nástin 1. cesty:

3.1.1 Návrh zapojení pro senzor ZTP-135SR (GE)



Obr 10-1 Návrh zapojení pro senzor ZTP-135SR

Na obrázku 10-1 je zobrazeno nejvhodnější zapojení pro senzor ZTP-135SR. Napájení senzoru V_{in} je (+5V), nastavitelný odpor v odporovém děliči, uzemnění je provedeno přes kondenzátor k analogové zemi. Dále následují 2 analogové výstupy, přičemž jeden slouží jako kompenzace okolní teploty a druhý je použit pro měření teploty objektu (základem je termoelektrický detektor, na který jsou napojeny 2 filtry DP 1. řádu, ve zpětné vazbě OZ opět filtr typu DP 1. řádu), výstupní signál je zesílen v invertujícím zapojení operačního zesilovače a na konci je výsledný výstupní analogový signál V_{out} .

Výstupní pin (analogový signál (napětí U)) by byl připojen na již zhotovenou A/D měřicí kartu BMENG DAU, kde by byl digitalizován a přiveden skrze konektor Canon 15 do PC. Za pomoci softwaru pro zpracování naměřených dat by byla data zakreslena do grafu a následně přepočtena napěťová úroveň (V) na úroveň teplotní ($^{\circ}\text{C}$).

Tento senzor však není nejvhodnější použít, jelikož není k dispozici podrobnější firemní dokumentace (z důvodů „zastaralosti“ senzoru), není tedy možno sestavit hardwarový modul, aniž by byly známy parametry senzoru, se kterými by se dále pracovalo. Nehledě na

to, že by realizace modulu pro bezkontaktní měření teploty byla ještě ztížena nutností kalibrace senzoru na referenčním kalibračním tělese.



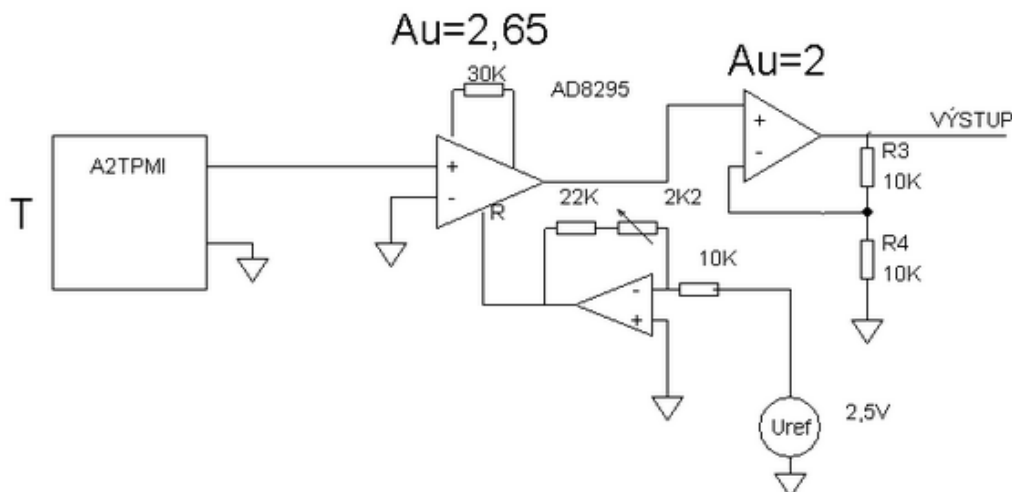
Obr 11-1 Výuková sada bmeng KIT, uprostřed A/D karta bmeng DAU

Na obrázku 11-1 je zobrazena celá výuková sada Biomedicínského inženýrství bmeng KIT. Uprostřed je již zmíněná A/D měřicí karta bmeng DAU, jejíž konektory jsou kompatibilní s ostatními konektory modulů (jsou to jak moduly pro měření EKG- napravo, tak pro měření PPG-nalevo a další moduly jsou ve vývoji). Modul bmeng DAU představuje digitální zpracování naměřených dat, výstupní digitální signál je poté přiveden skrze USB kabel do PC.

Jak bylo již v úvodu zmíněno, cílem této bakalářské práce je mj. sestavení hardwarového modulu pro bezkontaktní snímání teploty, který by byl přes konektor Canon 15 kompatibilní s A/D jednotkou bmeng DAU.

3.2 Nástin 2. cesty:

3.2.1 Návrh 1 pro zapojení senzoru A2TPMI334-L5.5OAA (PerkinElmer)



Obr 12-1 Schéma zapojení pro A2TPMI334-L5.5OAA

Senzor A2TPMI334-L5.5OAA je zapojen do přístrojového zesilovače typu AD8295 (AnalogDevices). Přístrojový zesilovač se skládá ze tří operačních zesilovačů, přičemž první zesilovač plní funkci přístrojového zesilovače s offsetem, skrze druhý zesilovač pod ním.

Výstupní napětí je třeba zesílit v přístrojovém zesilovači AD8295 a posunout tak, aby nulové výstupní napětí odpovídalo 30°C.

Zesílení a offset lze určit z rovnic (1.7) a (1.8):

$$0 = A_U \cdot (0,0622 \cdot 30 + 0,563) - U_{OFF} \quad (1.7)$$

$$3,3 = A_U \cdot (0,0622 \cdot 40 + 0,563) - U_{OFF} \quad (1.8)$$

Po vyřešení vychází $A_U=5,3$ a $U_{OFF}=12,87V$.

Potom rovnice (1.9) převodu teploty na napětí bude:

$$U_{VYST} = 5,3 \cdot (0,0622 \cdot \theta + 0,563) - 12,87 = 0,3297 \cdot \theta - 9,886 \quad (1.9)$$

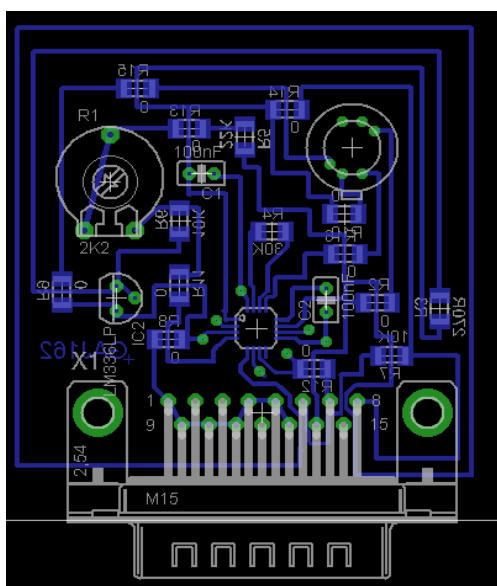
Celkové zesílení 5,3 se rozdělí do dvou stupňů 2,65 v diferenciálním stupni přístrojového zesilovače - zesílení určují rezistory ve struktuře a vnější rezistor 30KΩ. Druhý stupeň má zesílení 2 se zesilovačem ve společném pouzdře v neinvertujícím zapojení. Jeho zesílení je dáno

rezistory 10K Ω uvnitř pouzdra. Protože se zesiluje dvakrát i napětí offsetu se musí v rovnici (1.10) upravit:

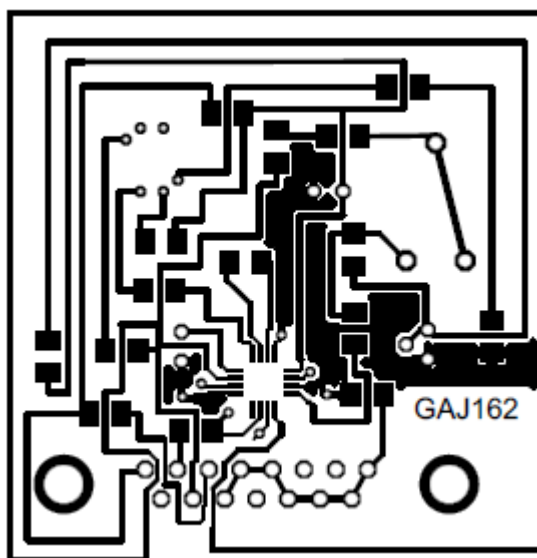
$$U_{VYST} = 2 \cdot (0,1649 \cdot \theta - 4,943) \quad (1.10)$$

Posunutí (výstupní offset) 4,943V se vytvoří pomocí referenčního napětí U_{REF} , kterému lze invertovat polaritu třetím OZ v invertujícím zapojení s vnějšími rezistory 22K Ω 10K Ω a trimrem 2,2K Ω pro nastavení výstupního offsetu 4,943V. Invertující zapojení je v zapojení z důvodu potřeby záporného offsetu. Jejich velikost závisí na velikosti referenčního napětí podle rovnice (1.11):

$$U_{OFF} = -U_{REF} \cdot \frac{(22 + 2,2)}{10} \quad (1.11)$$



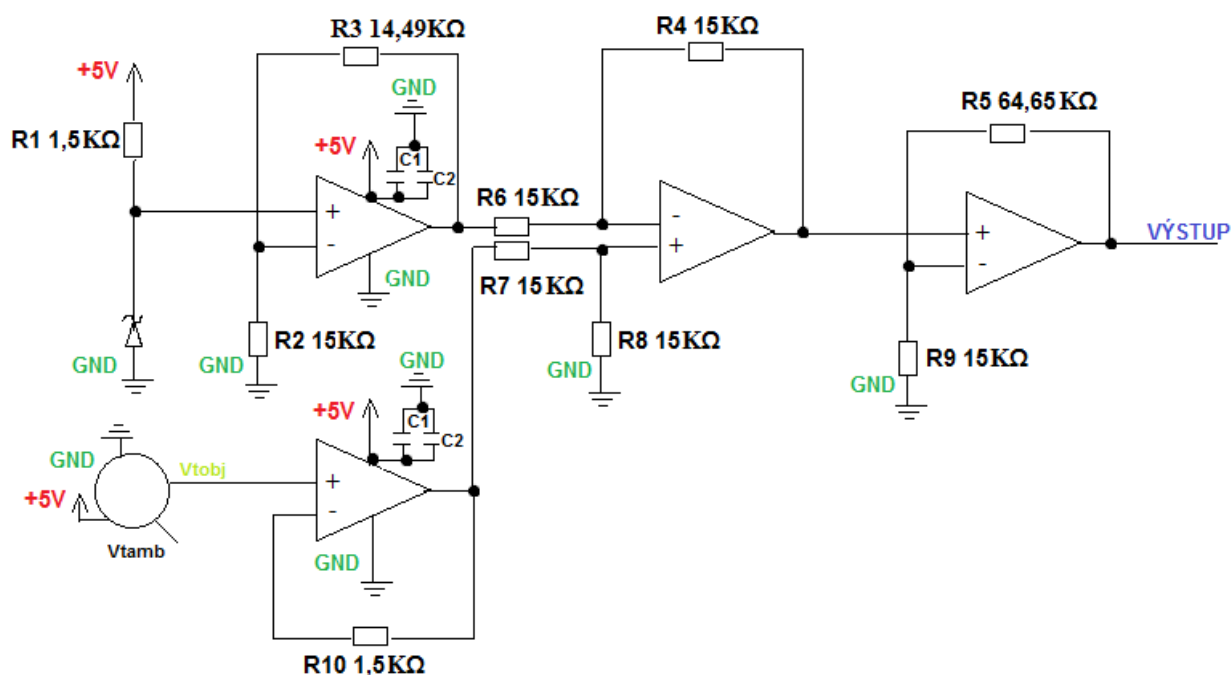
Obr 13-1 Osazovací deska



Obr 14-1 Deska plošných spojů

Tento návrh zapojení se ukázal být nesprávným, neboť se nepodařilo nastavit offset bezkontaktního teploměru podle zadaných kritérií. Také se neosvědčilo použití odporů typu SMD a přístrojový zesilovač AD8295 je sice precizní, ale manipulace s touto součástkou je velice náchylná na zničení zesilovače.

3.2.2 Návrh 2 pro zapojení senzoru A2TPMI334-L5.5OAA (PerkinElmer)



Obr 15-1 Obecné schéma zapojení

Senzor A2TPMI334-L5.5OAA je v zapojení se dvěma zesilovači OPA2350 (v jednom pouzdře jsou vždy dva operační zesilovače). Jedná se tedy o přístrojový zesilovač, který zesílí rozdíl napětí mezi dvěma operačními zesilovači. Na jednom operačním zesilovači je napětí, které přichází z teplotního senzoru, při snímání lidské teploty a na druhém operačním zesilovači je napětí přivedeno z referenčního zdroje napětí (stabilizátor typu LM385-1,2V), skrze který se nastaví offset přístroje na požadovaných 30°C - 40°C. Čtvrtý operační zesilovač pomocí vhodně zvolených odporů zajistí přiměřené zesílení celkového výstupního napětí.

Je třeba analogově přizpůsobit napětí teplotě pro oblast měření teploty lidského těla, což znamená roztáhnout napěťovou úroveň při měření teploty (cca 30°C - 40°C), při požadovaném napěťovém rozsahu 0 V-3,3 V. Podle firemní dokumentace senzoru A2TPMI334-L5.5OAA, výstupní napětí z teplotního snímače dosahuje při 30°C asi 2,429V a při 40°C asi 3,051V. Tento rozsah je třeba upravit tak, aby odpovídal požadovanému 0-3,3V.

Polynomičnou závislost lze pro účely analogového zpracování lze vyjádřit lineární rovnicí (1.12):

$$U_{\theta} = 0,0622 \cdot \theta + 0,563 \quad (1.12)$$

Výstupní napětí je třeba zesílit v operačním zesilovači OPA2350 a posunout tak, aby nulové výstupní napětí odpovídalo 30°C.

Zesílení a offset lze určit z rovnic (1.13):

$$\begin{aligned} 0 &= A_U \cdot [(0,0622 \cdot 30 + 0,563) - U_{OFF}] \\ 3,3 &= A_U \cdot [(0,0622 \cdot 40 + 0,563) - U_{OFF}] \end{aligned} \quad (1.13)$$

Po vyřešení vyjde $A_U=5,3$ a $U_{OFF}=12,87V$

Hodnota napětí při 30°C a 40°C z tabulky viz příloha P1, dosazení hodnot do rovnic (1.14):

$$\begin{aligned} U_{30} &= 2,565V \\ U_{40} &= 3,142V \end{aligned} \quad (1.14)$$

$$\begin{aligned} 0 &= 1,866 \cdot A_U + 0,563 \cdot A_U - U_{OFF} \cdot A_U \\ -3,3 &= -2,488 \cdot A_U - 0,563 \cdot A_U + U_{OFF} \cdot A_U \\ -3,3 &= -0,622 \cdot A_U \\ A_U &= 5,305 \end{aligned} \quad (1.15)$$

$$\begin{aligned} 0 &= 1,866 \cdot 5,305 + 0,563 \cdot 5,305 - U_{OFF} \cdot 5,305 \\ U_{OFF} &= 2,429V \end{aligned} \quad (1.16)$$

Hodnota napětí při 30°C a 40°C při nastaveném offsetu (1.17):

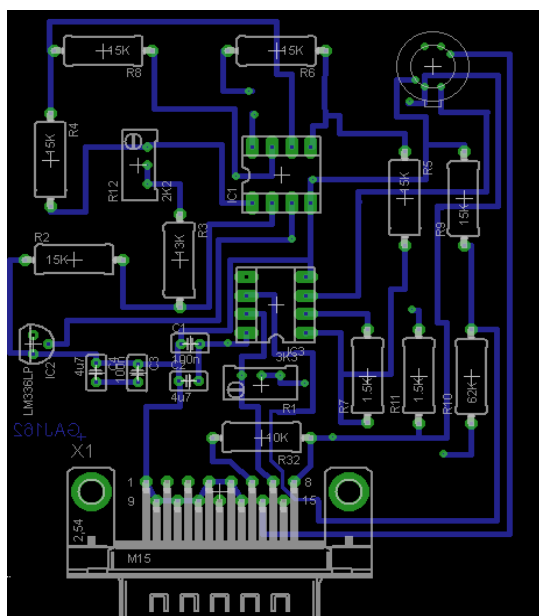
$$\begin{aligned} U_{30} &= 2,429V \\ U_{40} &= 3,05V \end{aligned} \quad (1.17)$$

Výpočet odporu R_2 , nutného k nastavení offsetu (1.18), (1.19), (1.20):

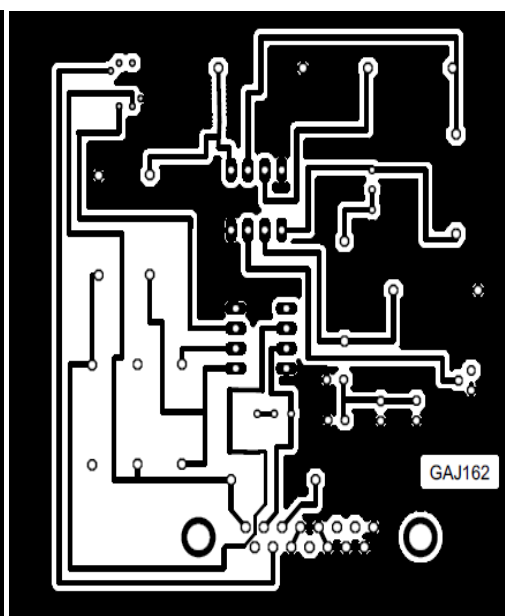
$$R_2 = \frac{a \cdot R_1}{1 - a} \quad (1.18)$$

$$A_U = 1 + \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow A_U = 1 + \frac{R_2}{15} = 5,305 \quad (1.19)$$

$$5,305 - 1 = \frac{R_2}{15000} \Rightarrow 4,305 \cdot 15000 = R_2 \Rightarrow 64,5k\Omega \quad (1.20)$$



Obr 16-1 Osazovací deska



Obr 17-1 Deska plošných spojů

3.3 Testování

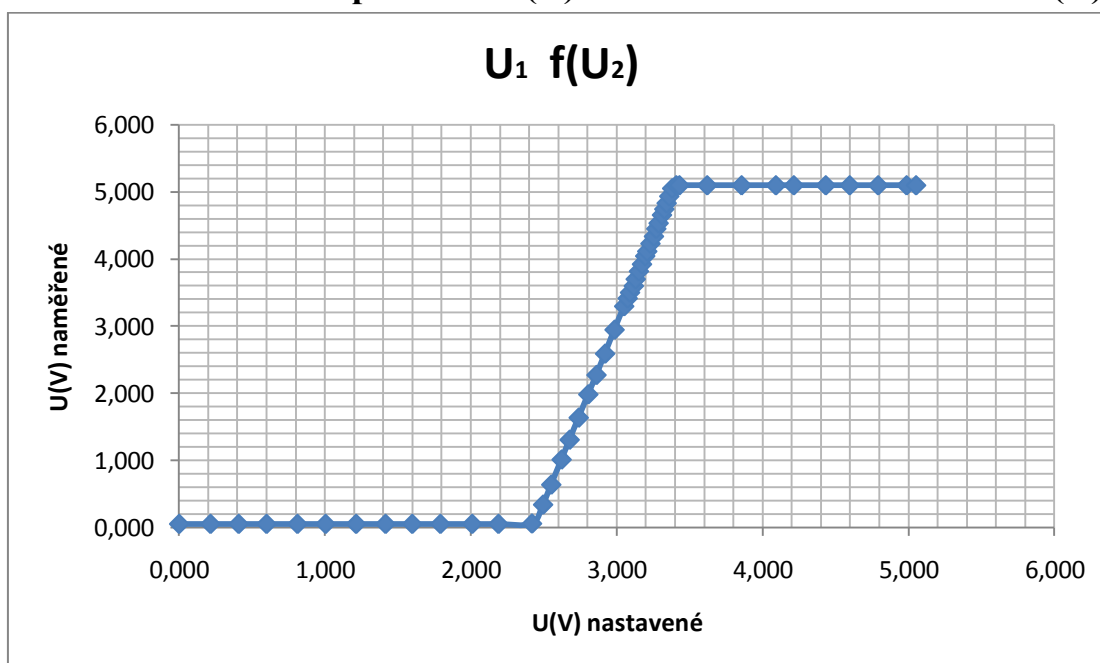
Modul pro bezkontaktní měření teploty podle návrhu č. 2 viz příloha P1 byl připojen na zdroj napětí $U_{DD} = +5V$ a na zem. Tato deska ještě neobsahovala senzor A2TPMI334-L5.5OAA, aby se ověřilo, zda správně funguje navržený obvod a zda je správně nastaven zesilovač s požadovaným offsetem. Proběhla tedy simulace senzoru a ověření správné činnosti přístrojové desky.

Z důvodů absence kalibračních těles nebyla přístrojová deska se senzorem A2TPMI334-L5.5OAA kalibrována, avšak předpokládá se správná činnost desky se senzorem, neboť její simulace dopadla úspěšně. Všechny komponenty desky fungují správně. Výsledky jsou zaznamenány v tabulce 1-1.

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| U(V) nastavené | 0,000 | 0,215 | 0,408 | 0,599 | 0,811 | 1,004 | 1,213 | 1,415 | 1,598 | 1,791 | 2,009 | 2,189 | 2,419 | 2,495 | 2,551 |
| U(V) naměřené | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,058 | 0,340 | 0,637 |
| U(V) nastavené | 2,622 | 2,677 | 2,739 | 2,805 | 2,861 | 2,920 | 2,985 | 3,051 | 3,075 | 3,091 | 3,117 | 3,130 | 3,152 | 3,173 | 3,195 |
| U(V) naměřené | 1,011 | 1,306 | 1,635 | 1,982 | 2,271 | 2,588 | 2,945 | 3,295 | 3,413 | 3,499 | 3,597 | 3,699 | 3,816 | 3,921 | 4,043 |
| U(V) nastavené | 3,209 | 3,231 | 3,255 | 3,271 | 3,287 | 3,310 | 3,326 | 3,342 | 3,360 | 3,380 | 3,408 | 3,430 | 3,620 | 3,856 | 4,091 |
| U(V) naměřené | 4,113 | 4,228 | 4,336 | 4,449 | 4,532 | 4,654 | 4,742 | 4,830 | 4,933 | 5,050 | 5,096 | 5,096 | 5,096 | 5,096 | 5,096 |
| U(V) nastavené | 4,214 | 4,433 | 4,597 | 4,792 | 4,987 | 5,052 | | | | | | | | | |
| U(V) naměřené | 5,096 | 5,096 | 5,096 | 5,096 | 5,096 | 5,096 | | | | | | | | | |

Tab 1-1 Tabulka naměřeného a nasimulovaného napětí

3.3.1 Charakteristika průběhu $U(V)$ v závislosti na nastaveném $U(V)$



Obr 18-1 charakteristika naměřeného napětí na nastaveném napětí (simulace napětí ze senzoru)

V grafu (18-1) je znázorněna charakteristika nastaveného napětí (simulace napětí na senzoru) na napětí naměřeném (napětí na výstupu- 7. pin konektoru). Z grafu je patrné, že je křivka lineární a do hodnoty 2,419V se nemění- tedy neměří se, teplotu začíná modul měřit až při 2,495V, což odpovídá dle tabulky v příloze P2 teplotě 30°C. Konec měření je u hodnoty napětí 3,380V, což odpovídá teplotě 43,512°C. Horní hranice měření není u 40°C, jelikož se jedná o modul sloužící pro lékařské účely a je předpokladem, že člověk vyšší teploty nedosáhne.

Malá chyba v oblasti 43°C tedy hodnota výstupního napětí okolo 5,096 je dána nepřesným nastavením zdroje při simulaci napájecího napětí, to samé platí i pro malé nuance v oblasti nuly. Pro hodnotu 30°C by měla hodnota výstupního napětí být rovna 0, v tomto případě tedy při hodnotě 2,429V (2,419V) neodpovídá hodnota napětí na výstupu 0 ale 0,058V. Tato chyba je způsobena nesymetrickým napájením operačních zesilovačů OPA2350. Při symetrickém napájení by se tedy dosáhlo ještě mnohem přesnějších výsledků.

Výsledná teplota se tedy vypočítá pomocí polynomů, pro teplotu objektu (1.21) a pro okolní teplotu (1.22):

$$T_{obj}[^{\circ}C] = 0,005686 \cdot x^6 + 0,10375 \cdot x^5 - 0,81405 \cdot x^4 + 3,7370 \cdot x^3 - 12,313 \cdot x^2 + 44,01 \cdot x - 39,62$$

$x = V_{Tobj}$ ve Voltech (1.21)

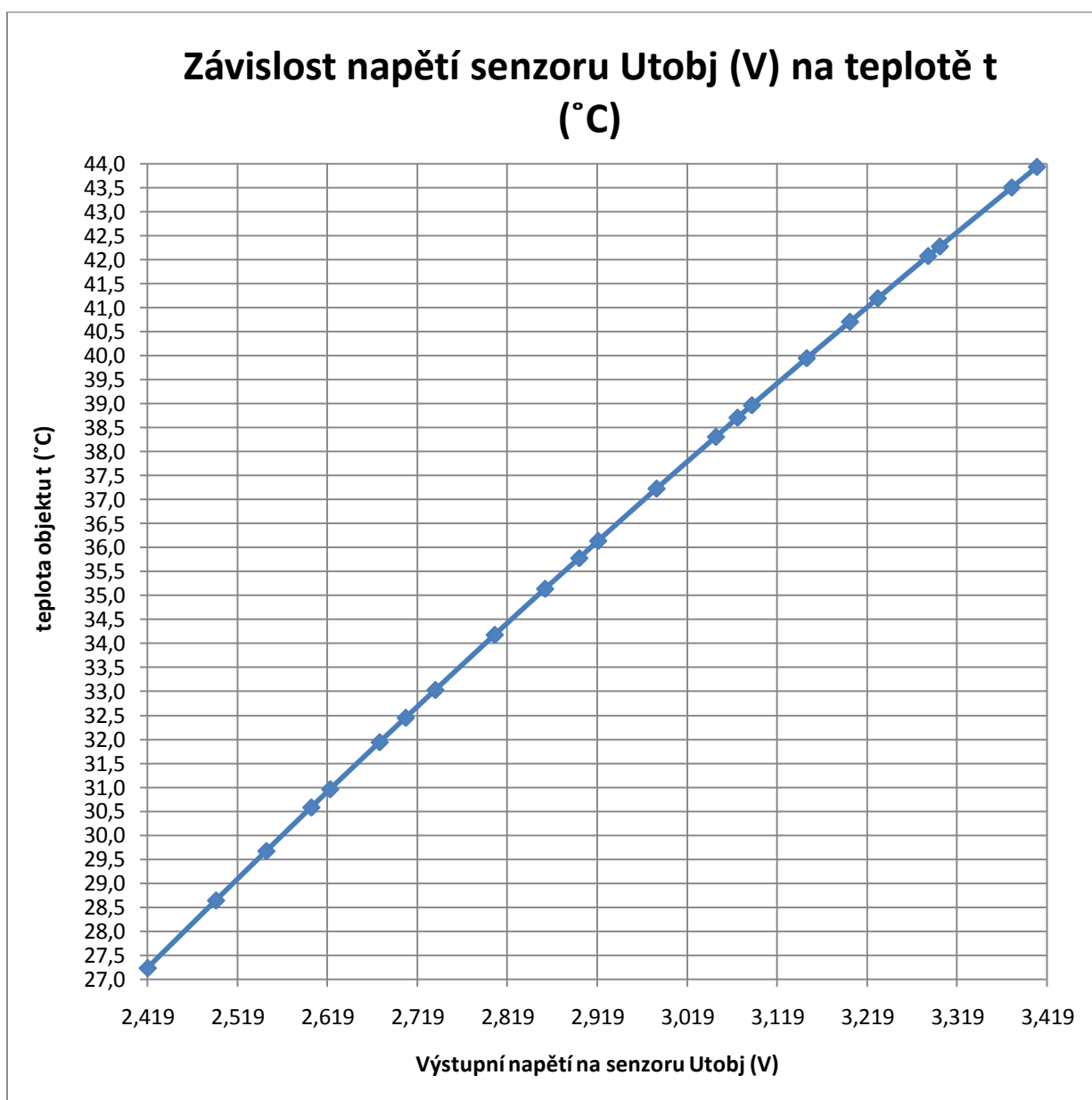
$$T_{AMB}[^{\circ}C] = -1,523563 \cdot x^6 + 20,52003 \cdot x^5 - 112,09588 \cdot x^4 + 319,2295 \cdot x^3 - 508,327 \cdot x^2 + 475,52 \cdot x - 180,50$$

$x = V_{Tamb}$ ve Voltech (1.22)

3.3.2 Detail naměřených hodnot napětí

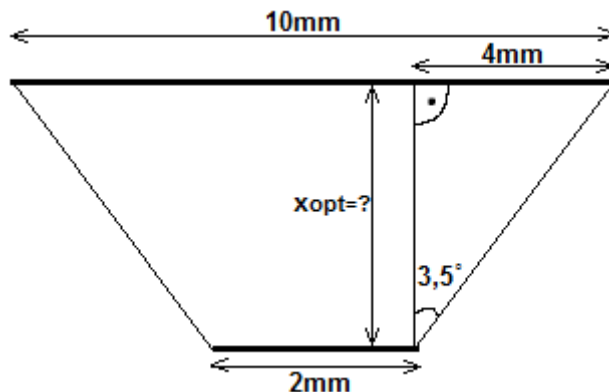
| Uobj (V) senzoru | Uout (V) zesílené | teplota t (°C) |
|------------------|-------------------|----------------|
| 2,419 | 0,058 | 27,23 |
| 2,495 | 0,340 | 28,64 |
| 2,551 | 0,637 | 29,67 |
| 2,601 | 0,911 | 30,58 |
| 2,622 | 1,011 | 30,96 |
| 2,677 | 1,306 | 31,94 |
| 2,706 | 1,453 | 32,45 |
| 2,739 | 1,635 | 33,03 |
| 2,805 | 1,982 | 34,18 |
| 2,861 | 2,271 | 35,14 |
| 2,899 | 2,489 | 35,78 |
| 2,920 | 2,588 | 36,14 |
| 2,985 | 2,945 | 37,23 |
| 3,051 | 3,295 | 38,31 |
| 3,075 | 3,413 | 38,71 |
| 3,091 | 3,499 | 38,97 |
| 3,152 | 3,816 | 39,95 |
| 3,200 | 4,075 | 40,71 |
| 3,231 | 4,228 | 41,20 |
| 3,287 | 4,532 | 42,08 |
| 3,300 | 4,598 | 42,28 |
| 3,380 | 5,050 | 43,51 |
| 3,408 | 5,096 | 43,94 |

Tab 1-2 tabulka stěžejních hodnot teplota- tomu odpovídající napětí a hodnota napětí na výstupu (simulace)



Obr 19-1 Charakteristika napětí na senzoru Utobj (V) na teplotě t (°C)

3.3.3 Zvolení vzdálenosti měření



Průměr snímací plochy senzoru je 2mm, plocha snímaného objektu k měření je cca 10mm (průměr prstu), zorný úhel senzoru ATPMI334-L5.5OAA je 7° , při rozdělení plochy lichoběžníku na dva pravoúhlé trojúhelníky a jeden obdelník, dostaneme jednu stranu pravoúhlého trojúhelníku ($\frac{(10-2)}{2} = 4mm$), dále známe polovinu zorného úhlu $3,5^\circ$ a z tohoto dostaneme odvěsnu pravoúhlého trojúhelníku (x_{opt}):

$$\tan 3,5^\circ = \frac{4}{x_{opt}}$$

$$x_{opt} = \frac{4}{\tan 3,5^\circ}$$

$$x_{opt} = 65,5mm$$

Při vzdálenosti senzoru od měřeného objektu 6,546cm bude senzor snímat celou plochu prstu o ploše 1cm. Podle této vypočítané hodnoty zvolíme ještě 2 jiné vzdálenosti, tak, aby byla ozářena jen část objektu ($x_{min}=1,5cm$) a vzdálenost, kdy bude senzor snímat kromě měřeného objektu také okolní objekty ($x_{max}=10cm$).

SOFTWAREVÁ ČÁST

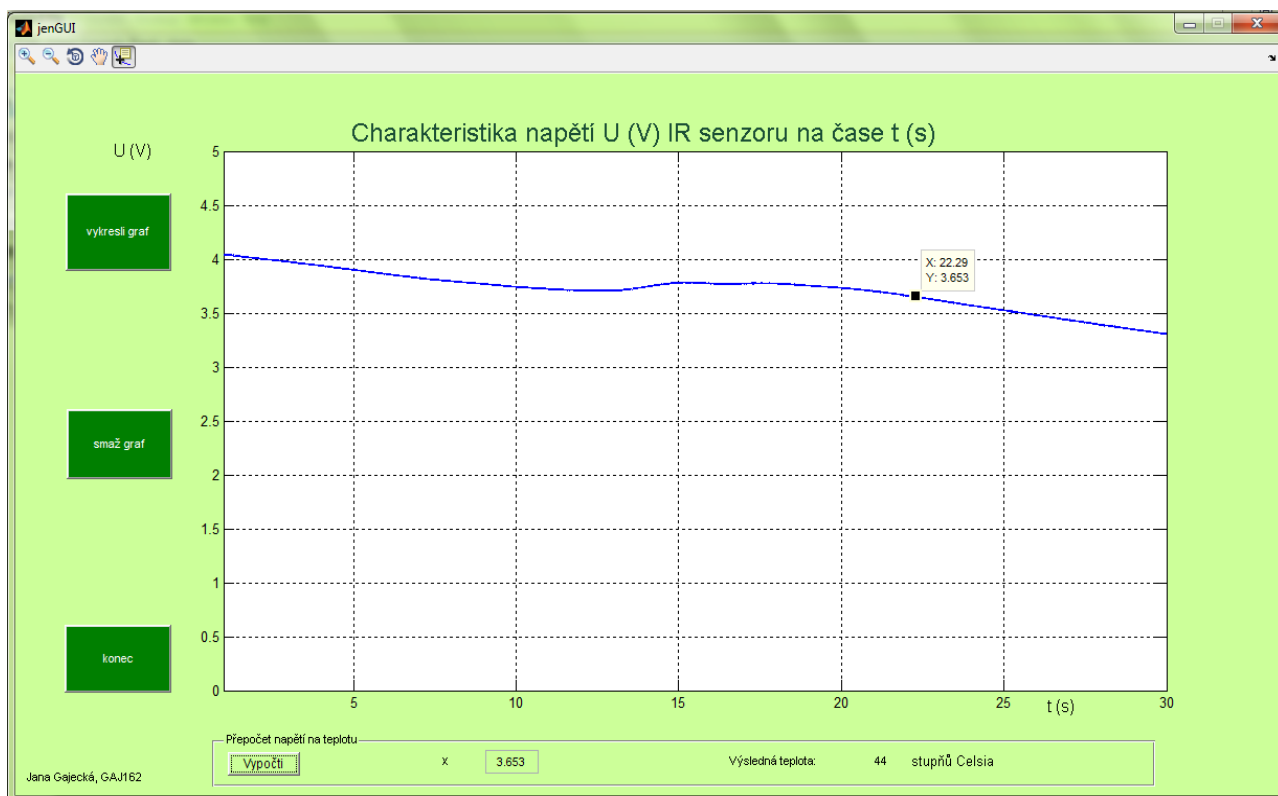
4 Návrh Softwaru:

Modul pro bezkontaktní měření teploty (hotový, tedy i se senzorem A2TPMI334-L5.5OAA) byl připojen na A/D převodník bmeng DAU pomocí konektoru Canon 15 a poté přes USB kabel propojen s počítačem. Díky jednoduchého softwaru pro záznam patientských dat, lze sledovat průběh napětí při měření lidské teploty. Toto napětí je pak jednoduše přepočteno na aktuální hodnotu teploty.

V programu jsou k dispozici 4 funkční tlačítka: (první tlačítko s funkcí vykreslení grafu, druhé tlačítko pro smazání původního grafu, slouží k vyčištění vykreslovacího pole pro nový záznam, dále tlačítko vypočti, které vypočítá hodnotu teploty, při manuálním zadání hodnoty napětí, které se získá pomocí kurzorů nahoře a jako poslední tlačítko konec, které celé okno zavře).

Ve středu okna je umístěn graf závislosti výstupního napětí senzoru po zesílení na čase. Vykreslování probíhá 30 s.

Software byl sestaven v programu Matlab Guide R2008b viz obrázek 20-1:



Obr 20-1 ukázka programu pro zpracování patientských dat

Kód z programu Matlab viz Příloha P4

5 Závěr:

Cílem této práce bylo navrhnout a zrealizovat jednoduchý modul bezkontaktního teploměru.

Hardwarovou, analogovou část jsem realizovala pomocí 4 operačních zesilovačů ve dvou pouzdrech OPA2350 od firmy Texas Instrument. V mém zapojení se jedná o přístrojový zesilovač, který zesílí rozdíl napětí mezi dvěma operačními zesilovači. Přičemž na jednom operačním zesilovači je napětí přicházející z teplotního senzoru při měření tělesné teploty a na druhém operačním zesilovači je napětí, které je přivedeno z referenčního zdroje napětí-stabilizátor LM385-1,2V. Čtvrtý a poslední operační zesilovač zajišťuje pomocí vhodné kombinace odporů výsledné zesílení napěťového signálu $\pm 5,3$. Takto zvoleným zapojením jsem dosáhla požadovaného měření teploty v intervalu $<28.6^{\circ}\text{C}, 43.9^{\circ}\text{C}>$.

Tuto jednotku jsem poté digitalizovala pomocí A/D převodníku Bmeng DAU. Modul bezkontaktního teploměru jsem k A/D jednotce připojila pomocí konektoru Canon 15. Převodník je USB kabelem připojen k počítači a výsledný digitální signál je dále zpracováván v programu Matlab R2008b v počítači.

Průběh napětí v čase lze zaznamenat v jednoduchém programu jenGUI.m v programu Matlab GUIDE R2008b. Jedná se o grafické okno se záznamem průběhu napětí v čase. Program se ovládá tlačítky: vykreslí graf, smaž graf, vypočti, kurzory a konec. Hodnotu teploty program vypočítá poté, co se zadá hodnota napětí do okna x.

Kalibrace senzoru prováděna nebyla z důvodu absence kalibračních těles. Předpokladem pro dobrý chod modulu se senzorem je jeho dobrá simulace. Testování modulu nebylo úspěšné, jelikož senzor A2TPMI334-L5.5OAA nereaguje tak, jak je zaznamenáno v technické dokumentaci. Senzor reaguje na měřený objekt čistě náhodně a neodpovídá ani jeho krátká reakční doba ani jeho zorný úhel, natožpak reakce na různé vzdálenosti objektu od senzoru. Daný senzor jsem shledala vadným, což se nepříznivě odrazilo na mých výsledcích práce.

Součástí práce měla být také laboratorní úloha. Návrh úlohy je zobrazen v příloze 3. Chybí tam grafy i výsledky z důvodu nefunkčnosti senzoru.

6 Seznam použité literatury:

- [1] SMUTNÝ, L. *Automa. Snímače teploty – současný stav a směry vývoje* [online]. [cit. 2007-4-18/19] <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34041>
- [2] *MeasurementMedia Division of Temperatures* [online]. [1997 - 2010] <<http://www.temperatures.com/csensors.html>>
- [3a] LYSENKO, V. *Detektory pro bezdotykové měření teplot*. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2005. 160 s. 78. strana. ISBN 80-7300-180-2.
- [3b] LYSENKO, V. *Detektory pro bezdotykové měření teplot*. 1. Vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2005. 160 s. 11. Strana. ISBN 80-7300-180-2.
- [4] *Optris GmbH.Berlin, Deutschland* [online]. [2009]. < [http:// www.optris.de](http://www.optris.de) >
- [5] *OmegaEngineering*. USA, Canada. [online]. [2003/2010] <<http://www.omega.com/temperature/Z/InfraredPyrometers.html>>
- [8] RIPKA, P. *katedra měření* [online]. [2011] <http://measure.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/predmety/x38ssd/09_teplota_bezkontaktni.pdf>
- [9] *PerkinElmer.Inc* [online]. [2005] <<http://www.alliedelec.com/Images/Products/Datasheets/BM/PERKINELMER/980-0046.PDF>>
- [10] PENHAKER, M. - IMRAMOVSKÝ, M. - TIEFENBACH, P. - KOBZA, F. *Lékařské diagnostické přístroje* - učební texty. 1. vydání. Ostrava: 2004. 322 s. ISBN 80-248-0751-3
- [11] *GlobalSpec* [online]. [1999-2011] <http://www.globalspec.com/learnmore/sensors_transducers_detectors/temperature_sensing/non_contact_infrared_temperature_sensors>
- [12] ŠAŠEK, L. *Safibra, s.r.o.* [online]. [2010] <www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28665>
- [13] KADLEC, K. *Měřicí technika* [online]. [2010] <http://web.vscht.cz/kadleck/archiv/MT_INaRP/MT-INFaRP07_Teplota.pdf>
- [14] HUŠEK, M. *QTEST* [online]. [2010] <<http://www.qtest.cz/bezdotykovye-teplomery/bezdotykovye-mereni-teploty.htm>>
- [15] HABEL, J. [online]. [2008-2011] < <http://www.earch.cz/clanek/4904-zaklady-svetelne-techniky.aspx> >

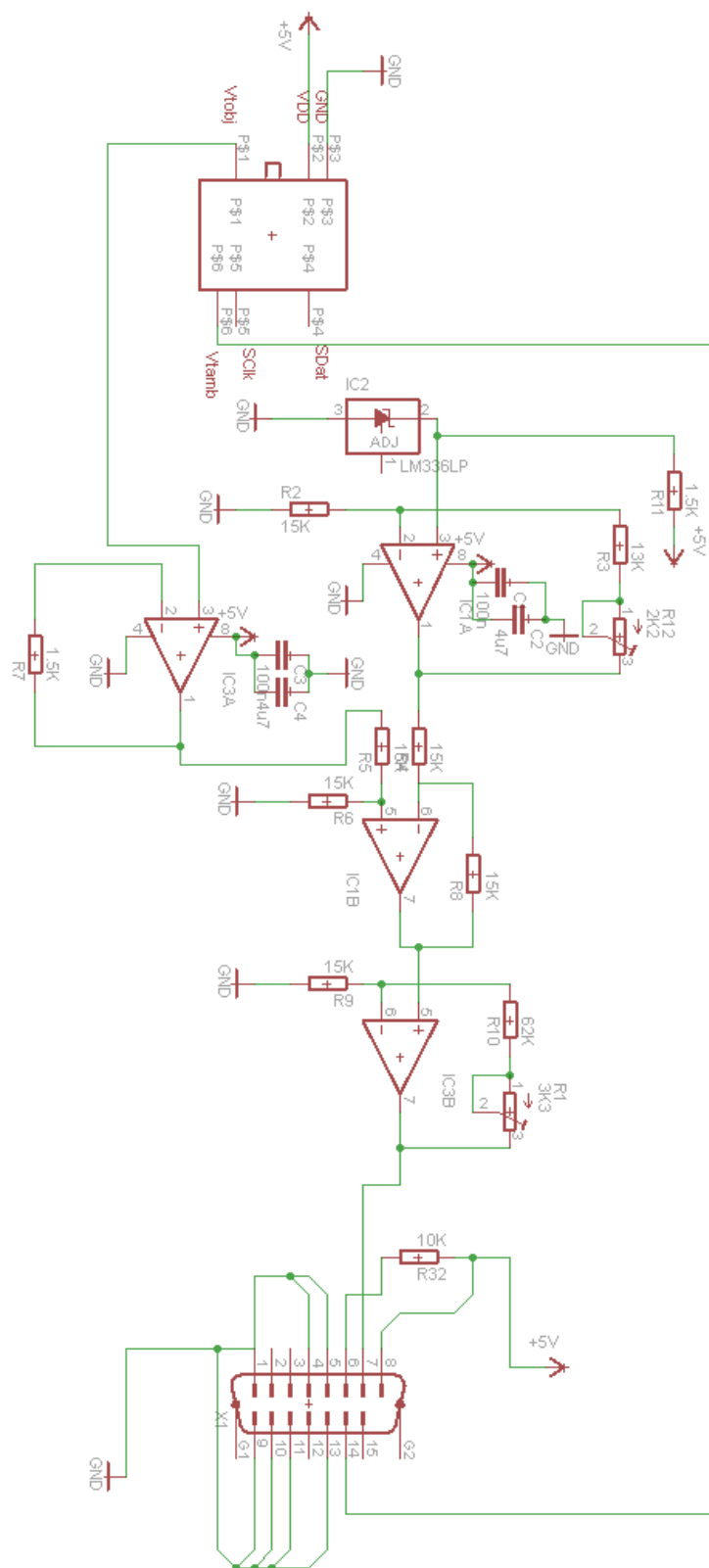
[16] VOJÁČEK, A. *Thermopile sensors =radiální pyrometry* [online].[cit. 2009-3-4].<
<http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART189-thermopile-sensors--radiacni-pyrometry.html> >.

[17] VAVŘIČKA, R. *Bezdotykové měření teploty* [online]. [cit. 2009-4-20].<
<http://utp.fs.cvut.cz/vz/clanky/104pdf> >.

7 Seznam příloh:

| | |
|--|------|
| Příloha 1 - Návrh DPS | I |
| Příloha 2 - Technická dokumentace | II |
| Příloha 3 – Návrh laboratorní úlohy | IV |
| Příloha 4 – fotografie modulu bezkontaktního teploměru | VIII |
| Příloha 5 - Kód programu Matlab R2008b | VIII |

Příloha 1 - Návrh DPS



Příloha 2 - Technická dokumentace

V_{TOBJ} Characteristics

Unless otherwise specified, all limits specified for V_{DD} = +5 V, V_{Ref} = +1.225 V.

| Temperature / °C | Min | Typ | Max | Unit | Gradient V * K ⁻¹ |
|------------------|-------|-------|-------|------|---------------------------------|
| -20 | 0.435 | 0.508 | 0.581 | V | 0.029 |
| -15 | 0.581 | 0.660 | 0.739 | V | 0.031 |
| -10 | 0.738 | 0.823 | 0.907 | V | 0.034 |
| -5 | 0.907 | 0.996 | 1.086 | V | 0.036 |
| 0 | 1.086 | 1.182 | 1.277 | V | 0.038 |
| 5 | 1.277 | 1.379 | 1.481 | V | 0.041 |
| 10 | 1.481 | 1.589 | 1.698 | V | 0.043 |
| 15 | 1.697 | 1.812 | 1.927 | V | 0.046 |
| 20 | 1.927 | 2.049 | 2.171 | V | 0.049 |
| 25 | 2.171 | 2.300 | 2.429 | V | 0.052 |
| 30 | 2.429 | 2.565 | 2.702 | V | 0.055 |
| 35 | 2.702 | 2.846 | 2.990 | V | 0.058 |
| 40 | 3.051 | 3.142 | 3.234 | V | 0.061 |
| 45 | 3.294 | 3.455 | 3.615 | V | 0.064 |
| 50 | 3.615 | 3.784 | 3.953 | V | 0.068 |
| 60 | 4.309 | 4.495 | 4.682 | V | 0.075 |

Polynomial to calculate T_{obj} from V_{Tobj}:

$$T_{obj} [^{\circ}\text{C}] = -0.005686 x^6 + 0.10375 x^5 - 0.81405 x^4 + 3.7370 x^3 - 12.313 x^2 + 44.01 x - 39.62$$

x = V_{Tobj} in Volt

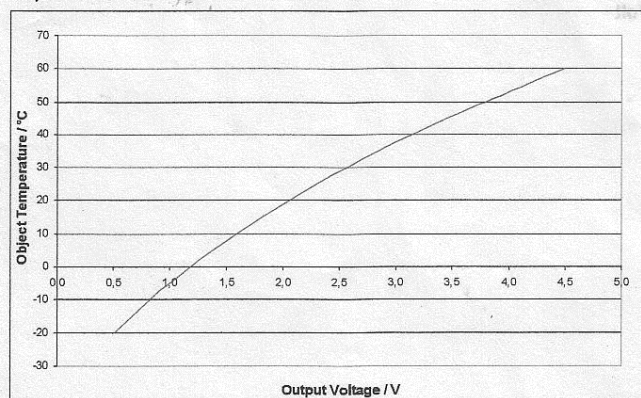


Figure 1: Output voltage / object temperature relation



PerkinElmer®
precisely.

Product Specification A2TPMI

V_{TAMB} Characteristics

Unless otherwise specified, all limits specified for V_{DD} = +5 V, V_{Ref} = +1.225V

| Temperature | Min | Typ | Max | Unit | Gradient |
|-------------|-------|-------|-------|------|-------------------------|
| -20 °C | | 0.621 | | V | 6.9 mV K ⁻¹ |
| -10 °C | 0.684 | 0.704 | 0.724 | V | 9.8 mV K ⁻¹ |
| 0 °C | 0.791 | 0.816 | 0.842 | V | 12.7 mV K ⁻¹ |
| 10 °C | 0.942 | 0.958 | 0.974 | V | 15.6 mV K ⁻¹ |
| 15 °C | 1.023 | 1.040 | 1.057 | V | 17.1 mV K ⁻¹ |
| 20 °C | 1.110 | 1.129 | 1.147 | V | 18.5 mV K ⁻¹ |
| 25 °C | 1.205 | 1.225 | 1.245 | V | 20.0 mV K ⁻¹ |
| 30 °C | 1.307 | 1.329 | 1.350 | V | 21.4 mV K ⁻¹ |
| 35 °C | 1.417 | 1.439 | 1.462 | V | 22.9 mV K ⁻¹ |
| 40 °C | 1.533 | 1.558 | 1.582 | V | 24.4 mV K ⁻¹ |
| 50 °C | 1.789 | 1.816 | 1.843 | V | 27.3 mV K ⁻¹ |
| 60 °C | 2.043 | 2.103 | 2.163 | V | 30.2 mV K ⁻¹ |
| 70 °C | 2.353 | 2.420 | 2.486 | V | 33.1 mV K ⁻¹ |
| 80 °C | 2.693 | 2.765 | 2.837 | V | 36.0 mV K ⁻¹ |
| 90 °C | 3.062 | 3.140 | 3.218 | V | 38.9 mV K ⁻¹ |
| 100 °C | 3.460 | 3.544 | 3.628 | V | 41.9 mV K ⁻¹ |

Polynom to calculate T_{amb} from V_{TAmb} :

$$T_{Amb} [^{\circ}\text{C}] = -1.523563 x^6 + 20.52003 x^5 - 112.09588 x^4 + 319.2295 x^3 - 508.327 x^2 + 475.52 x - 180.50$$

x = V_{TAmb} in Volt

Příloha 3 - Laboratorní úloha

NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY:

8 Bezkontaktní měření teploty

8.1 Cíl úlohy:

Cílem úlohy je demonstrovat elementární funkci senzoru pro bezkontaktní měření tělesné teploty pacienta.

V této laboratorní úloze se naučíte:

- Zorientovat se v datasheetu firemní dokumentace a osvojit si technickou terminologii
- Pochopit zapojení bezkontaktního teploměru
- Měřit teplotu bezkontaktně (ověřit si fci teploměru a demonstrovat to na příkladech dle zadání LÚ)

8.2 Zadání:

- 1) Změřte teplotu pacienta a svá měření z fyziologického hlediska odůvodněte. Tato měření proveďte na různých místech těla (doporučená místa jsou: prst, střed čela a střed zevního zvukovodu). Měřte v zadáných vzdálenostech senzoru od pacienta $l_1=1,5\text{mm}$, $l_2=1,5\text{cm}$, $l_3=6,54\text{ cm}$, $l_4=10\text{cm}$, $l_5=12\text{cm}$. Měření proveďte vždy třikrát, výsledky měření zaznamenejte a vyhodnoťte mezi sebou.
- 2) Jakým hodnotám teploty odpovídá napětí $U_1=0,637\text{ V}$, $U_2=2,271\text{ V}$, $U_3=3,816\text{ V}$? Podle vzorce spočítejte a poté ověřte správnost v programu Matlab jenGUI.m

$$T_{\text{obj}} [^{\circ}\text{C}] = 0,005686 \cdot x^6 + 0,10375 \cdot x^5 - 0,81405 \cdot x^4 + 3,7370 \cdot x^3 - 12,313 \cdot x^2 + 44,01 \cdot x - 39,62$$

$x = V_{Tobj}$ ve Voltech

8.3 Předpokládané znalosti:

- Firemní dokumentace A2TPMI334-L5.5OAA (<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/174016/PERKINELMER/A2TPMI334L5.5OAA.html>)
- Teorie bezkontaktního měření teploty viz BP

8.4 Použité vybavení:

- Bmeng DAU jednotka
- Přístrojová deska se senzorem A2TPMI334-L5.5OAA od PE
- USB kabel k propojení A/D převodníku s deskou
- Software k zpracování naměřených dat v Matlabu R2008b

8.5 Teoretická část:

Snímače pro infračervené záření se nazývají pyrometry. Úhrnné pyrometry měří teplotu v celém spektru udaných vlnových délek, teplotu vyhodnocují na základě Stefan-Boltzmanova zákona. Pásmové pyrometry měří záření v úzkém rozsahu vlnových délek.

Každé uskupení hmoty o teplotě nad absolutní nulu ($0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$) vysílá infračervené záření, odpovídající jeho teplotě. To se nazývá charakteristické záření. Jeho příčinou je vnitřní pohyb molekul. Intenzita tohoto pohybu závisí na teplotě objektu. Protože pohyb molekul představuje přemísťování náboje, je vyzařováno elektromagnetické záření (fotonové částice). Tyto fotony se pohybují rychlostí světla a chovají se dle známých optických zákonů. Mohou být odkláněny, soustředěny čočkami nebo odráženy odraznými povrchy. Spektrum tohoto vyzařování pokrývá vlnové délky od $0,7$ do $1000\text{ }\mu\text{m}$, pro bezdotykové měření ovšem využíváme jen malou část tohoto spektra, a sice vlnové délky od $0,7$ do $20\text{ }\mu\text{m}$, pro větší vlnové délky nejsou k dispozici vhodné detektory. Toto spektrum záření pokrývá měření teploty od -40 do $10\,000\text{ °C}$. Z tohoto důvodu toto záření nemůže být normálně viditelné pouhým okem. Tato oblast vlnových délek leží za červenou částí viditelného světla a nazývá se proto "infra"-červená (z latiny).

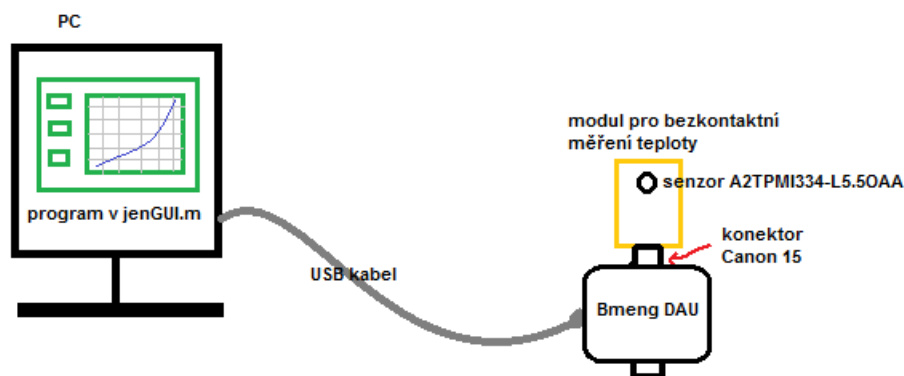
Senzor A2TPMI334-L5.5OAA

Pro demonstraci bezkontaktního měření teploty byl vybrán teplotní senzor A2TPMI334-L5.5OAA od firmy PerkinElmer. Tento teplotní senzor obsahuje integrovaný obvod pro zpracování signálu, je odolný proti vnějšímu záření (Slunce nebo halogenový zářič). Zorný úhel senzoru je 7 stupňů.

8.6 Pracovní postup:

Nejprve si pozorně přečtěte firemní dokumentaci k senzoru A2TPMI334-L5.5OAA viz datasheet výše. Poté zapojte přípravek pro bezkontaktní měření teploty (GAJ162) ke kanálu 2 A/D převodníku bmeng DAU. Pomocí USB kabelu se připojte k PC a spusťte program jenGUI.m. Dále měřte podle zadání.

8.6.1 Schéma zapojení:



Obr 20-1 Schéma zapojení

8.6.2 Postup k úkolu č. 1:

- 1) Změřte teplotu pacienta a svá měření z fyziologického hlediska odůvodněte. Tato měření proveďte na různých místech těla (doporučená místa jsou: prst, střed čela a střed zevního zvukovodu). Měřte v zadaných vzdálenostech senzoru od pacienta $l_1=1,5\text{cm}$, $l_2=6,54\text{cm}$, $l_3=10\text{ cm}$. Měření proveďte vždy třikrát, výsledky měření zaznamenejte a vyhodnoťte mezi sebou.

8.7 Výsledky:

8.7.1 Tabulka pro první měření:

| Vzdálenost l | l_1 | l_2 | l_3 | l_4 | l_5 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| U _{obj} (V) | | | | | |
| Teplota t (°C) | | | | | |

8.7.2 Příklad výpočtu:

$$T_{obj} [^{\circ}\text{C}] = 0,005686 \cdot x^6 + 0,10375 \cdot x^5 - 0,81405 \cdot x^4 + 3,7370 \cdot x^3 - 12,313 \cdot x^2 + 44,01 \cdot x - 39,62$$

$x = V_{Tobj}$ ve Voltech

Pro $U_1=0,637\text{ V}$:

$$T_{obj} [^{\circ}\text{C}] = 0,005686 \cdot 0,637^6 + 0,10375 \cdot 0,637^5 - 0,81405 \cdot 0,637^4 + 3,7370 \cdot 0,637^3 - 12,313 \cdot 0,637^2 + 44,01 \cdot 0,637 - 39,62$$

$$T_{obj} [^{\circ}\text{C}] = 29,7^{\circ}\text{C}$$

Pro $U_2=2,271\text{ V}$:

$$T_{obj} [^{\circ}\text{C}] = 0,005686 \cdot 2,271^6 + 0,10375 \cdot 2,271^5 - 0,81405 \cdot 2,271^4 + 3,7370 \cdot 2,271^3 - 12,313 \cdot 2,271^2 + 44,01 \cdot 2,271 - 39,62$$

$$T_{obj} [^{\circ}\text{C}] = 35,1^{\circ}\text{C}$$

Pro $U_3=3,816 \text{ V}$:

$$T_{obj} [^{\circ}\text{C}] = 0,005686 \cdot 3,816^6 + 0,10375 \cdot 3,816^5 - 0,81405 \cdot 3,816^4 + 3,7370 \cdot 3,816^3 - 12,313 \cdot 3,816^2 + 44,01 \cdot 3,816 - 39,62$$

$$T_{obj} [^{\circ}\text{C}] = 39,9^{\circ}\text{C}$$

8.7.3 Grafy:

8.7.4 Kontrolní otázky:

1) Jaké parametry prostředí a měřeného objektu ovlivňují správnost a přesnost měření?

Vzdálenost senzoru od měřeného objektu, míra osvětlení, velikost snímané plochy (při velké vzdálenosti senzoru od měřeného objektu senzor snímá i okolní teplotu- dochází ke zkreslení), typ snímaného povrchu...

2) Jaké je napájecí napětí teplotního senzoru A2TPMI334-L5.5OAA?

Napájecí napětí senzoru je +5V.

3) Jak lze dosáhnout bezkontaktního měření v úzkém rozsahu teplot 30°C až 40°C , užitím senzoru A2TPMI334-L5.5OAA?

Použitím operačního zesilovače s offsetem, zvolením správných hodnot odporů a správného zapojení zesilovačů se docílí optimálního zesílení signálu a dále pak k nastavení offsetu na požadovanou úroveň viz obr 15-1.

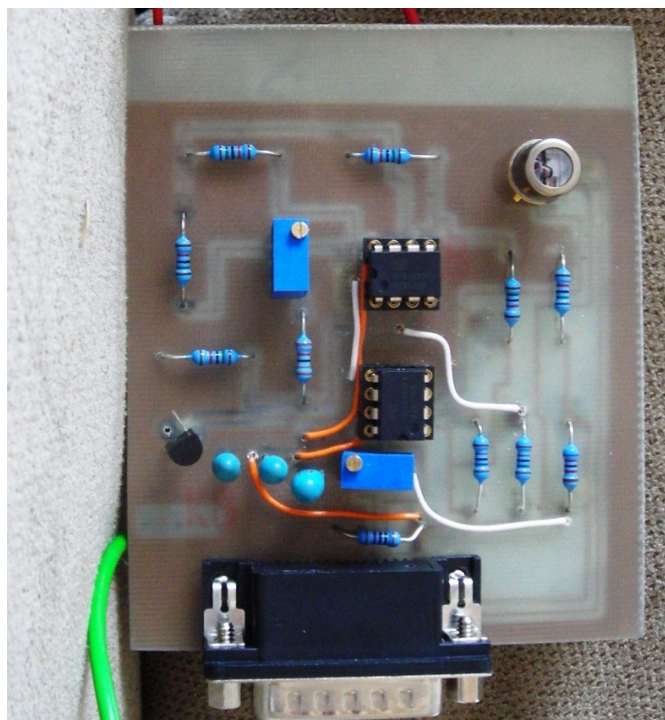
4) Jakým hodnotám napětí odpovídají teploty $t_1=29,7^{\circ}\text{C}$, $t_2=35,1^{\circ}\text{C}$, $t_3=39,9^{\circ}\text{C}$?

$$t_1=29,7^{\circ}\text{C} = 0,637 \text{ V}$$

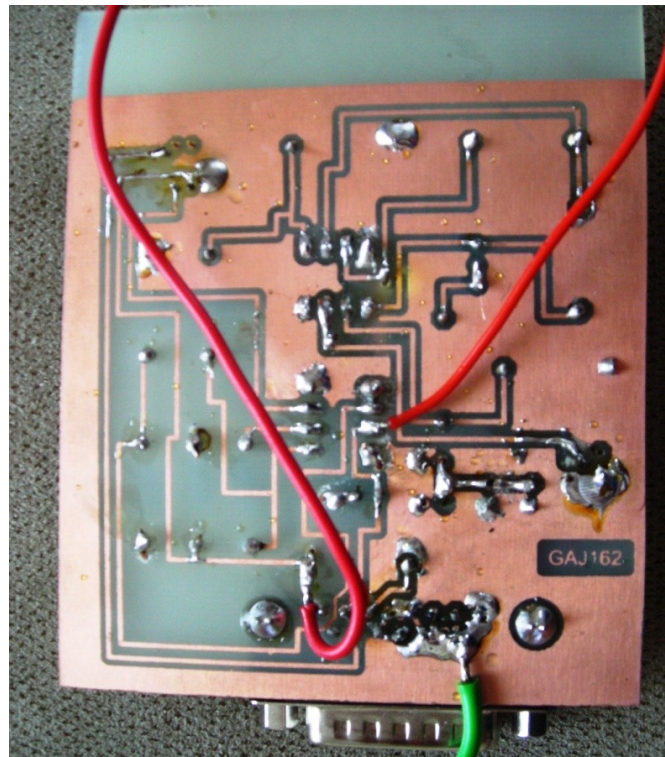
$$t_2=35,1^{\circ}\text{C} = 2,271 \text{ V}$$

$$t_3=39,9^{\circ}\text{C} = 3,816 \text{ V}$$

Příloha 4- fotografie modulu bezkontaktního teploměru



Obr 21-1 pohled na hotovou desku shora



Obr 22-1 pohled na desku ze strany cest

Příloha 5 - Kód programu Matlab R2008b

```
function varargout = jenGUI(varargin)
%JENGUI M-file for jenGUI.fig
%   JENGUI, by itself, creates a new JENGUI or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = JENGUI returns the handle to a new JENGUI or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   JENGUI('Property','Value',...) creates a new JENGUI using the
%   given property value pairs. Unrecognized properties are passed
via
%   varargin to jenGUI_OpeningFcn. This calling syntax produces a
%   warning when there is an existing singleton*.
%
%   JENGUI('CALLBACK') and JENGUI('CALLBACK',hObject,...) call the
%   local function named CALLBACK in JENGUI.M with the given input
%   arguments.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows
only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help jenGUI

% Last Modified by GUIDE v2.5 28-Apr-2011 18:34:47

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @jenGUI_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @jenGUI_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before jenGUI is made visible.
function jenGUI_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```

% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin     unrecognized PropertyName/PropertyValue pairs from the
%              command line (see VARARGIN)

% Choose default command line output for jenGUI
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes jenGUI wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = jenGUI_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout    cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject     handle to figure
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in druhtlactitko.
function druhtlactitko_Callback(hObject, eventdata, handles)
dauDemo
% hObject     handle to druhtlactitko (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in tretitlactitko.
function tretitlactitko_Callback(hObject, eventdata, handles)
cla(handles.graf1)
clear
clc
% hObject     handle to tretitlactitko (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in ctvrtetlactitko.
function ctvrtetlactitko_Callback(hObject, eventdata, handles)
close
% hObject     handle to ctvrtetlactitko (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in vypocti.
function vypocti_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

global x Vtobj A
xmin=0
xmax=5
x=xmin:0.001:xmax;
A=round(Vtobj)
soubor=fopen('vysledky.txt','wt');
fprintf(soubor,'\n\nVtobj=(-0.005686*x^6+0.10375*x^5-
0.81405*x^4+3.7370*x^3-12.313*x^2+44.01*x-39.62)');
fprintf(soubor,'%g',x);
fclose(soubor);
set(handles.teplotka,'string',A);
set(handles.vypocti,'String',textread('vysledky.txt','%s','whitespace'
, ''))

% hObject      handle to vypocti (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

function teplota_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to teplota (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of teplota as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of teplota
as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function teplota_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to teplota (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function vlozhodnotux_Callback(hObject, eventdata, handles)
global x Vtobj
v=str2num(get(hObject,'string')); %vezmu text a prevedu ho na cislo

if isscalar(v) && imag(v)==0 %cislo musi byt realny skalar!!!
    if v<0 || v>5
        uiwait(msgbox(sprintf('Překročen rozsah x\n\nZadávejte v
rozsahu <0;5>'),'Chyba v zadání','error'));
        set(hObject,'string','');
    else
        %pokud podmínky jsou OK, zapis získané číslo do používané
proměnné

```



```

        x=v
    if x >= 0 && x < 2.419
        x = 1.182
    elseif x >= 3.380
        x = 3.380
    end
    Vtobj=(-0.005686*x^6+0.10375*x^5-0.81405*x^4+3.7370*x^3-
12.313*x^2+44.01*x-39.62)
    title(handles.graf1,sprintf('Vtobj=(%d*-
0.005686*x^6+%0.10375*x^5-%0.81405*x^4+%3.7370*x^3-
%12.313*x^2+%44.01*x-%39.62+ %d)',x));
    end
else
    uiwait(msgbox(sprintf('Nebylo zadáno číslo!!\n\nBuďto je zadávací
pole prázdné, nebo jste použili nedovolený znak\n(častou chybou je
použití desetinné čárky namísto požadované tečky)'), 'Chyba v
zadání', 'error'));
    set(hObject, 'string', '');
end

% hObject      handle to vlozhodnotux (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles       structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of vlozhodnotux as
text
%             str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
vlozhodnotux as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function vlozhodnotux_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to vlozhodnotux (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles       empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%             See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```